

507 095

PCT/PTO 03 SEP 2003

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. September 2003 (25.09.2003)

PCT

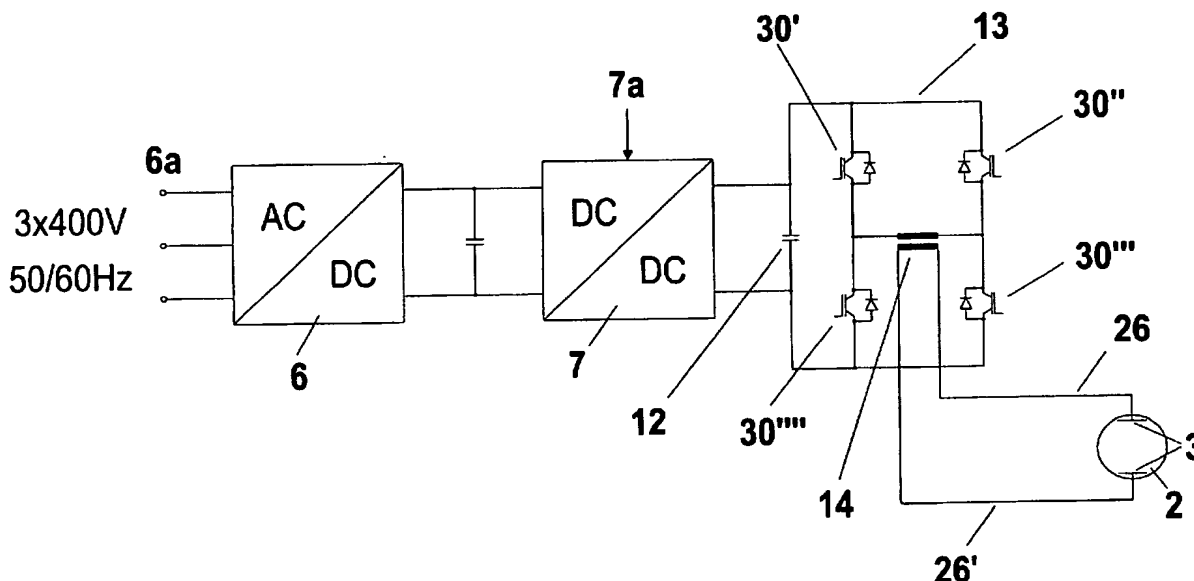
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/079397 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01J 37/34, 37/32**
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/CH03/00121**
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
19. Februar 2003 (19.02.2003)
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
- (30) Angaben zur Priorität:  
458/02 15. März 2002 (15.03.2002) **CH**
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **UNAXIS BALZERS AG [LI/LI]; FL-9496 Balzers (LI).**
- (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **TUYMER, Gerhard [AT/AT]; Kantnermühlstrasse 11, A-4701 Bad Schallerbach (AT). SCHÜTZE, Andreas [AT/AT]; Churerstrasse 10, A-6800 Feldkirch (AT).**
- (74) Anwalt: **WEGMANN, Urs; Saschela 3, CH-9479 Ober-  
schan (CH).**
- (81) Bestimmungsstaaten (national): **AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **VACUUM PLASMA GENERATOR**

(54) Bezeichnung: **VAKUUMPLASMAGENERATOR**



(57) Abstract: The aim of the invention is to provide a vacuum plasma generator (1) for depositing reactive layers with the aid of a vacuum plasma process, which operates reliably at high pulse power and is capable of preventing, to a great extent, arc discharges in the plasma process. The generator (1) is composed of a mains-supply rectifier (6) for rectifying the mains voltage, a DC-DC converter (7) for setting and/or adjusting the converter output voltage, in addition to a semiconductor full-bridge circuit (13) that is connected downstream of the converter (7) for generating pulses ranging between 1 and 500 kHz, whereby an isolating transformer (14) is connected within the full-bridge circuit (13) for galvanically decoupling the generator output.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/079397 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

(57) **Zusammenfassung:** Zur Abscheidung von reaktiven Schichten mit Hilfe eines Vakuumplasmaprozesses wird ein Vakuumplasmagenerator (1) realisiert, der betriebssicher bei hohen Pulsleistungen eingesetzt werden kann und in der Lage ist, Bogenentladungen im Plasmaprozess weitestgehend zu vermeiden. Der Generator (1) ist aufgebaut aus einem Netzgleichrichter (6) für die Gleichrichtung der Netzspannung, einem DC-DC-Konverter (7) zur Einstellung und / oder Regelung der Konverterausgangsspannung, sowie einer dem Konverter (7) nachgeschalteten Halbleitervollbrückenschaltung (13) zur Erzeugung von Pulsen im Bereich von 1 bis 500 kHz, wobei in die Vollbrücke (13) ein potentialtrennender Transformator (14) geschaltet ist zur galvanischen Entkopplung des Generators ausgangses.

### Vakuumpasmagenerator

Die Erfindung bezieht sich auf einen Vakuumpasmagenerator zur Speisung einer Plasmaentladung zur Behandlung von Werkstücken in einer Vakuumkammer gemäss Anspruch 1, sowie ein  
5 Verfahren zur Herstellung einer Schicht durch reaktives Abscheiden aus einem Plasma gemäss Anspruch 12.

Elektrische Speisegeräte zum Betreiben von Gasentladungen bzw. Plasmaentladungen für Vakuumprozesse sind auf vielerlei Art und Weise bereits bekannt geworden. Solche elektrischen Speisegeräte werden in der Fachwelt auch als Generatoren bezeichnet. Es ist hierbei wichtig, die Betriebsbedingungen gut kontrollieren zu können, weil die Natur der  
15 Plasmaentladung und des damit verbundenen Plasmaprozesses besondere Anforderungen stellt. Neben der zugeführten Spannung, dem Strom und der Entladungsleistung ist insbesondere das Verhalten bei Überschlägen im Plasma, auch als Arc bezeichnet, wie auch mögliche Kurzschlüsse besonders gut zu  
20 beherrschen. Solche Lichtbogenentladungen bzw. Arc's treten beim Betreiben von Plasmaentladungen immer wieder auf und erfordern besondere Massnahmen. Insbesondere beim Beschichten mit Hilfe eines Zerstäubungsprozesses, auch als Sputtern bezeichnet, treten solche Überschläge auf und können  
25 die Qualität des Produktes negativ beeinflussen oder sogar eine Beschichtung verunmöglichen. Solche Probleme treten dann besonders stark auf, wenn schlecht leitende Schichten oder gar dielektrische Schichten erzeugt werden sollen. Um solche Schichten abzuscheiden, beispielsweise mittels Magnetronspütern, wird bevorzugt das sogenannte Reaktivzerstäuben eingesetzt. Hierbei wird beispielsweise das Target einer Magnetronquelle mit einer negativen Gleichspannung  
30

versorgt, um ein sogenanntes DC-Plasma zu erzielen, welches beispielsweise mit einem Trägergas wie Argon unterhalten wird und die ionisierten Argonteilchen das Target mit Hilfe eines Stossvorganges zerstäuben. Das Zerstäubungstarget ist  
5 hierbei metallisch ausgebildet, also leitfähiges Material, und wird mit zusätzlichem Reaktivgas, beispielsweise Sauerstoff, bei der Zerstäubung zur Reaktion gebracht, wodurch dann eine oxydische Schicht abgeschieden werden kann. Hierbei treten durch die Belegung der umgebenden Oberflächen,  
10 aber auch des Targets selbst, mit der oxydischen Schicht die Arc-Probleme auf. Die nichtleitenden beschichteten Oberflächen laden sich auf beim Gleichstromzerstäubungsprozess und es entstehen hierbei die unerwünschten Arc-Entladungen.

15

Bis anhin hat man sich dahingehend geholfen, dass beispielsweise solche Lichtbogen detektiert werden und dann der Generator kurzzeitig ausgeschaltet wird, um nachher wieder das Plasma hochzufahren. Eine andere bekannte Lösung  
20 besteht darin, Hochfrequenzentladungen im MHz-Bereich oder Mittelfrequenzentladungen im kHz-Bereich oder Überlagerungen solcher AC-Spannungen bezüglich einer Gleichstrombasistentladung vorzunehmen. Eine weitere bekannte Möglichkeit besteht darin, bei reaktiven Zerstäubungsprozessen das  
25 Plasma mit Hilfe eines DC-gepulsten Generators zu speisen. Der in der Pulsspeisung enthaltene Wechselspannungsanteil, auch AC-Anteil genannt, und/oder die Pulspausen ermöglichen eine periodische Entladung der unerwünschten Aufladungen im Vakuumraum. Da die dielektrischen respektive nichtleitenden  
30 Schichten bei diesen Reaktivprozessen relativ dünn sind, beispielsweise im Mikrometerbereich oder weniger, genügen dazu relativ tiefe Frequenzen im Kilohertzbereich. Solche

gleichspannungsgepulsten Anordnungen werden als Unipolarpulsanordnungen bezeichnet. Um den Entladungsvorgang an diesen dielektrischen Schichten weiter zu fördern, ist es hilfreich, in der Pausenzeit die Elektrode nicht nur von der Speisung freizuschalten, sondern gegenüber Anode bzw. Masse kurzzuschalten. Hierdurch wird der Entladevorgang gezielt positiv beeinflusst. Eine weitere Beschleunigung des Entladevorgangs kann erreicht werden, wenn in der Pausenzeit, das heisst wenn keine Argonionen mit dem negativen Puls gegen das Target beschleunigt werden, die Spannung sogar kurzzeitig ins Positive geschaltet wird, um ein grösseres Entladungsgefälle für Elektronen zu erzeugen und den Entladevorgang nochmals zu beschleunigen. Hierbei werden also bereits bipolare Pulse eingesetzt, wobei diese aber bevorzugt nicht symmetrisch sind und die negative Puls-Zeitfläche grösser ist als die positive, um hohe Sputterraten zu gewährleisten. Typische Entladungsspannungen bei Magnetronzerstäubungsanordnungen bewegen sich im Bereich von einigen Hundert Volt, typischerweise etwa im Bereich von 400 bis 800 Volt negativ. Je nach Auslegung der Magnetronquelle und der Arbeitsdrücke können die Spannungsbereiche auch grösser oder kleiner sein. Für die beschleunigte Entladung von dielektrischen Aufladungen genügt es hierbei, kurzzeitig in der Pausenzeit auf einige Volt oder einige Zehn Volt positiv zu gehen.

Bekanntgeworden ist weiterhin auch die Möglichkeit, zwei Elektroden als Kathoden zu betreiben, wobei diese wechselseitig einmal kathodisch und das andere Mal anodisch geschaltet werden, das heisst mit einem bipolaren Pulsgenerator betrieben werden. Diese Anordnung wurde auch schon als Twin-Mag bezeichnet. Hierbei ist abwechselungsweise einmal

jede Elektrode Kathode und danach Anode. Dies ist eine besonders vorteilhafte Anordnung für reaktive Zerstäubungsprozesse. Gegenüber den bekannten Hochfrequenz-gesteuerten AC-Plasmaanordnungen haben die unipolar bzw. bipolar betriebenen gleichstromgetakteten DC-Anordnungen den Vorteil der hohen Raten. Ausserdem können die komplizierten Reaktivprozesse besser kontrolliert werden. Moderne Generatoren dieser Art werden als steuerbare DC-Generatoren realisiert, wobei insbesondere die Schaltnetzteiltechnik, auch bekannt als Gleichspannungswandler oder im Englischen Sprachgebrauch als Switchmode-Powersupply, bzw. Konverteranordnungen bekannt geworden sind. Schaltnetzteile dieser Art werden, wie in der Elektronik üblich, derart aufgebaut, dass zuerst das Wechselspannungsnetz, beispielsweise das Dreiphasennetz mit 3 x 400 Volt AC 50 Hz, auf übliche Weise gleichgerichtet wird, um eine Gleichspannung zu erzeugen. Die erzeugte Gleichspannung ab dem Netz beträgt dann etwa 550 Volt und wird danach mit Hilfe eines Schaltnetzteils bzw. einem sogenannten DC-DC-Konverter auf die gewünschten Spannungswerte gewandelt. Im wesentlichen wird dazu die Gleichspannung mit Hilfe von Halbleiterschaltern gesteuert zerhackt und über einen Transformator entsprechend hochtransformiert oder tiefgesetzt, wobei die Anordnung über die Halbleiterschalter üblicherweise gesteuert werden kann, beispielsweise in der Pulsbreite, um eine variable einstellbare Ausgangsspannung erzeugen zu können. Selbstverständlich können die Anordnungen auch geregelt werden auf die entsprechend gewünschten Ausgangsspannungen, -ströme oder -leistungen.

30

Solche Schaltnetzteile bzw. DC-DC-Konverter sind auf vielerlei Arten bekannt geworden und es gibt zwischenzeitlich

viele Variationsformen von Ausführungsmöglichkeiten. Für den Betrieb eines Plasmagenerators mit unipolaren Ausgangspulsen zur Plasmaspeisung werden solche DC-DC-Konverter direkt eingesetzt, indem diese primärseitig über die Schalttransistoren gesteuert bzw. getaktet werden, dass ausgangseitig eine entsprechende pulsierende Gleichspannung entsteht. Bei grösseren Leistungen und für die Erzeugung von bipolaren Ausgangspulsen hat sich auch die Verwendung von Halbleiterbrückenschaltungen, wie mit Transistoren oder Thyristoren, durchgesetzt. Hierbei wird die Brücke in bekannter Weise dazu benutzt, die Polarität der in die Brücke eingespeisten DC-Spannung zu invertieren. Die Last bzw. die Plasmaentladungsstrecke wird hierzu immer direkt in den Halbleiterbrückenweig geschaltet. Der Aufwand für die Realisierung dieser bekannten Anordnungen ist beträchtlich. Vorallem im Bezug auf Schutzmassnahmen der Halbleiter bei den hohen Betriebsspannungen und vorallem auch bei hohen Leistungen erfordert dies besondere Schutzmassnahmen für die Halbleiter. Ein weiteres Problem besteht darin, dass bei Überschlügen oder bei Kurzschlüssen schnelle transiente Vorgänge stattfinden, welche zu induzierten Spannungsüberhöhungen führen und zu hohen Stromspitzen, die zusätzlich die empfindlichen Leistungshalbleiter zerstören können. Der Betrieb mit Reaktivprozessen, insbesondere mit schlecht leitenden Materialien oder gar Isolationsschichten bei hohen Leistungen bzw. bei hohen Pulsleistungen und vorallem mit definierten Pulsanstiegszeiten, war bis anhin mit den bekannten Pulsgeneratoren nur bedingt erfolgreich möglich.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt darin, die vorerwähnten Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen. Insbesondere besteht die Aufgabe darin, einen Vakuum-

- plasmagenerator zu realisieren, der hohe Leistungen im Dauerbetrieb standhält und gleichzeitig in der Lage ist, ein definiertes Pulsverhalten an das Plasma abzugeben, um somit auch die gewünschten Schichteigenschaften realisieren zu können. Es wurde nämlich erkannt, dass die Abscheidung von Schichten mit speziellen geforderten Eigenschaften stark von der Art und Weise der Pulsspeisung des Plasmas und somit des Plasmaentladungsverhaltens abhängig ist.
- 10 Die Aufgabe wird erfindungsgemäss durch einen Vakuumplasmagenerator nach Anspruch 1 und durch ein Verfahren nach Anspruch 12 gelöst. Die abhängigen Ansprüche definieren weitere vorteilhafte Ausführungsformen.
- 15 Die Aufgabe wird erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass ein Vakuumplasmagenerator mit einem Ausgang zur Speisung einer Plasmaentladung zur Behandlung von Werkstücken in einer Vakuumkammer derart aufgebaut wird, dass ein Netzanschluss für den Anschluss an ein Wechselspannungsnetz vorgesehen ist, wobei dieser ein Netzgleichrichter enthält zur Erzeugung einer DC-Spannung und diesem ein DC-DC-Konverter nachgeschaltet ist mit einem Steuereingang zur Einstellung und / oder Regelung der Konverterausgangsspannung und an diesen Konverter eine gesteuerte Vollbrückenschaltung mit einem potentialfreien Generatorausgang, welche die Konverterausgangsspannung in Pulse von 1 bis 500 kHz umsetzt, wobei in die Brücke ein potentialtrennender Transformator geschaltet ist zur galvanischen Entkopplung des Generatorausganges.
- 25
- 30 Die Brückenschaltung besteht hierbei aus Schalttransistoren, wobei bevorzugt sogenannte IGBT's eingesetzt werden. Über den vorgeschalteten DC-DC-Konverter kann die Spannung,



welche in die Brückenschaltung eingespeist wird, über einen grossen Bereich eingestellt werden. Hierzu hat sich vor allem ein sogenannter getakteter DC-DC-Konverter, also ein Schaltnetzteil, bewährt, welcher vorzugsweise als buck-boost-Konverter realisiert ist. Die eingestellte Ausgangsspannung kann dann sowohl kleiner als auch grösser als die Eingangsspannung sein. Die nachgeschaltete Brückenschaltung wird also nur zur Erzeugung der pulsierenden Ausgangsspannung eingesetzt. Diese kann sowohl unipolar wie auch bevorzugt bipolar sein. Die Plasmaentladungsstrecke wird erfindungsgemäss nicht direkt in die Brücke geschaltet, sondern über einen Trenntransformator, der direkt in die Brücke eingeschaltet ist und als streuarmer Ausführung ausgebildet ist. Dieser Transformator hat nicht primär die Aufgabe, die Spannung zu übersetzen, sondern eine Potentialtrennung zu erzeugen und gleichzeitig Rückwirkungen auf die empfindlichen Schalterhalbleiter in der Brücke zu vermeiden, also das Plasma gegenüber der Brückenschaltung zu entkoppeln. Das Übersetzungsverhältnis dieses Transformators soll somit maximal 1:2 betragen, besser aber weniger als 1:1,5. Die Streuinduktivität des Transformators sollte nicht grösser als 50  $\mu\text{H}$  sein, wobei bevorzugt wird diese unter 10  $\mu\text{H}$  zu halten. Dazu sind besondere Wicklungsmassnahmen notwendig. Die Ansteuerung der Brückenschaltung erfolgt mit Vorteil über eine elektronische Steuereinrichtung, wie insbesondere eine Mikroprozessoransteuerung, womit die Einstellung und / oder die Regelung des Pulsverhaltens möglich wird. Es kann also insbesondere ein bipolarer Puls eingestellt werden, es kann die Schaltfrequenz eingestellt werden und das Tastverhältnis der Pulse. Ausserdem kann die Pulsdauer und die Einstellung der Pulsform beeinflusst werden. Zusätzliche Möglichkeiten die Kurvenform zu beeinflussen, bestehen dar-

in, dass der vorgeschaltete Konverter entsprechend abgestimmt moduliert bzw. gesteuert wird.

Wichtig für die reaktive Zerstäubungsanwendung ist das bei  
5 der vorliegenden Anordnung zwischen den Pulsen, eine Pulspause eingestellt werden kann und in dieser Pulspause die Elektroden kurzgeschlossen werden über den Transformator bzw. die Brückenschaltung. Dies geschieht durch Kurzschliessen der Primärseite des Transformators mit der Brücke.

10

Die erfindungsgemässe Anordnung des Generators ermöglicht ausserdem, mehrere Brücken am Konverter parallel zu betreiben und die Ausgänge der Brücken über einen Trafo oder mehrere Transformatoren zusammenzuführen. Mit der vorliegenden  
15 erfindungsgemässen Anordnung ist es somit möglich, hohe Pulsleistungen ans Plasma zu führen ohne unzulässige Verzerrungen der Pulsform zu erzeugen und somit das Plasmaverhalten und den Reaktivprozess derart zu beherrschen, dass besonders eindeutige kristalline Ergebnisse in der abge-  
20 schiedenen Schicht erzielt werden können. Dazu sind auch sehr hohe Pulsleistungen notwendig, welche durch das erfindungsgemässe Konzept erst realisiert werden kann, ohne Zerstörungen an empfindlichen Halbleiterbauteilen am Generator befürchten zu müssen. Der erfindungsgemässe Generator er-  
25 laubt ausserdem eine wirtschaftliche Realisierung der Anordnung.

Die Erfindung wird nun nachfolgend beispielsweise mit schematischen Figuren näher erläutert. Es zeigen:

30

Fig. 1 ein Bipolar-Pulsgenerator gemäss Stand der Technik

- Fig. 2 eine prinzipielle Elektrodenanordnung mit Generator
- 5 Fig. 3 ein typischer Spannungs- und Stromverlauf einer bipolaren Pulsanordnung
- Fig. 4 eine erfindungsgemässe Generatoranordnung
- 10 Fig. 5 ein erfindungsgemässer Aufbau der Brückenschaltung mit zwei Brücken
- Fig. 6 Schaltzustände der Anordnung nach Fig. 5
- 15 Fig. 7 eine erfindungsgemässe Anordnung mit zwei Vollbrücken und zwei Transformatoren
- Fig. 8 ein erfindungsgemässer Generator mit vier Vollbrücken und vier Transformatoren
- 20 Fig. 9 ein Transformator mit Wicklungsschema im Querschnitt
- Fig. 10 eine Beschichtungsanlage mit Generator, schematisch und im Querschnitt
- 25 Fig. 11 Kennlinie Targetstrom / Sauerstofffluss für einen erfindungsgemässen, reaktiven Zerstäubungsprozess für die Abscheidung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- 30 Fig. 12 Röntgenbeugungsspektrum für eine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht mit Gamma-Struktur

Die Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau eines bekannten Generators 1, welcher wie üblich am Wechselspannungsnetz 3 x 400 Volt AC 50 Hz am Eingang 6a angeschlossen ist. Dieser verfügt über ein eingangsseitiges Gleichspannungsnetzteil 6, 7, wobei sich die in den meisten Anwendungen erforderliche Potentialtrennung vom Versorgungsnetz über einen Transformator im DC-DC-Wandler 7 des Gleichspannungsnetzteils befindet. Zur Erzeugung von gepulsten unipolaren wie auch bipolaren Ausgangsspannungen verfügen die bekannten Generatoren über eine Pulsausgangsstufe 8, die vom Gleichspannungszwischenkreis 12, der hier als Kondensator gezeigt ist, gespeist werden. Im ungünstigen Fall sind diese Pulsausgangsstufe 8 sogar räumlich in einem separaten Gehäuse vom Gleichspannungsnetzteil 6, 7 getrennt. Wesentliche Bestandteile der Ausgangsstufe 8 sind elektrische Schalter wie Transistoren 9 und Freilaufdioden 10. Für zusätzlichen Schutz werden oft auch Induktivitäten 11 in den Schaltkreis eingefügt. Zur Erzeugung von bipolaren Pulsen weist die Ausgangsstufe eine Brückenstruktur auf, wobei die Brücke bei allen bekannten Generatoren direkt den Ausgang bildet, das heisst die Transistoren direkt mit der Last gebildet durch die zwei Elektroden 3 und dem von diesen gezündeten Plasma innerhalb einer Vakuumkammer 2 elektrisch verbunden sind.

In Fig. 2 ist schematisch der bevorzugte Anwendungsfall des Generators dargestellt. Die beiden Ausgänge 26, 26' des Generators 1 sind mit jeweils einer innerhalb einer Vakuumkammer 2 befindlichen elektrisch isolierten Elektrode 3 verbunden, vorzugsweise Magnetron-Kathoden. In Fig. 3 ist das Spannungsmuster U4 und das Strommuster I5 in Abhängig-

keit von der Zeit  $t$  für einen Ausgang 26, 26' des Generators 1 bevorzugt dargestellt. Nach jeweils einem positiven rechteckförmigen Spannungspuls erfolgt eine Pause, wonach sich die elektrische Polarität des darauffolgenden Pulses umkehrt. Der über das Plasma sowie die Elektrode 3 und den Generator 1 fliessende Strom  $I$  folgt einem etwa dreieckförmigen Verlauf, da zu Beginn eines Pulses vorallem die Anzahl der im Plasma vorhandenen Ladungsträger sowie eine am Ausgang des Generators befindliche Induktivität, wie zum Beispiel die Verdrahtungsinduktivität, Ausgangsfilter etc., einen steileren Anstieg des Stromes verhindert. Während der einen Ausgang dem dargestellten Muster folgt, liegt am anderen Ausgang und an der einen Targetelektrode die jeweils umgekehrte Polarität an. Somit erfolgt ein ständiger Ladungsaustausch zwischen den Elektroden über das Plasma und verhindert elektrische Aufladungen an der Targetoberfläche.

Wesentlich zur Erzielung eines auch über bei industriellem Einsatz langen Zeitraum ohne Schaden funktionierenden Generators auch bei mehreren Hundert kW Spitzenleistungen und Pulsfrequenzen im Bereich von 1 bis 500 kHz oder bevorzugt von 5 bis 100 kHz funktionierenden Generators ist die erfindungsgemässe Anordnung, wie schematisch in Fig. 4 dargestellt. Der Generator weist einen Netzanschluss 6a auf und einen AC-DC-Netzgleichrichter 6, welcher die Netzwechselspannung in eine Gleichspannung umsetzt. Bei den üblichen Dreiphasennetzspannungen von 3 x 400 Volt AC 50 Hz entsteht am Netzgleichrichterausgang eine Gleichspannung von etwa 550 Volt, die mit Kondensatoren zusätzlich geglättet werden kann. Mit dieser Gleichspannung wird nun der DC-DC-Konverter 7 gespiesen, welcher in der Lage ist, eine Gleichspannung zu erzielen, die tiefer oder höher ist als

die eingespiessene Spannung. Dieser Konverter 7 besteht aus einem Schaltnetzteil, welches vorzugsweise als buck-boost-Konverter ausgebildet ist, um die erforderlichen Tief- und Hochsetzstellereigenschaften zu erzielen. Solche buck-boost-Konverter sind beispielsweise beschrieben in "Power Electronics von Mohan, Undeland, Robbins; Verlag John Wiley & Sons, Inc; Ausgabe 2nd ed. 1995". Diese Technologie ermöglicht ausserdem die Verwendung von mehreren parallel betriebenen buck-boost-Konvertern, welche jeweils vorzugsweise um eine bestimmte Phase gegenüber der Schaltimpulse versetzt ist, um die Rippelstrombelastung in dem nachgeschalteten Zwischenkreiskondensator zu reduzieren und um mit geringeren Kapazitätswerten auszukommen. Ausserdem wird die Belastung der einzelnen Konverter aufgeteilt. Geeignet hat sich in der Praxis eine Anordnung mit vier derartigen Konvertern, welche jeweils um eine Viertel Periode versetzt geschaltet sind. Bei dem vorgeschlagenen erfindungsgemässen Aufbau des Konverters 7 können mit Vorteil die weit verbreiteten und bewährten IGBT-Module als Schalter eingesetzt werden, welche Spannungen bis 1200 Volt verarbeiten können. Bei dieser Schaltungsanordnung ist es ohne weiteres möglich, bereits im Bereich des DC-DC-Konverters 7 die notwendigen Leistungsspitzen bereitstellen zu können, die grösser 50 kW sind oder gar einige Hundert kW betragen können.

25

Am Ausgang des DC-DC-Konverters 7 ist mit Vorteil ein Zwischenkreiskondensator 12 als Glättungskondensator nachgeschaltet. Der Konverter 7 stellt somit die am Ausgang erforderliche Betriebsspannung zur Verfügung und ist vorteilhafterweise mit einem entsprechenden Steuereingang 7a versehen, durch welchen die gewünschte Spannung eingestellt oder geregelt werden kann. Selbstverständlich kann auch auf

30

einen am Ausgang gemessenen Strom oder Leistung geregelt werden mit der entsprechenden Regelelektronik. Zur Aufarbeitung der entsprechenden Steuerspannungen haben sich Mikroprozessorschaltungen bewährt. Nach dem Zwischenkreiskondensator 12 des Konverter 7 ist eine Vollbrückenschaltung 13 bestehend aus vier Halbleiterschaltern wie Schalttransistoren 30 bis 30 nachgeschaltet. Auch diese Schalttransistoren sind vorzugsweise IGBT-Transistoren. Da eine vollkommen symmetrische Ausgangsstruktur der Bauelemente des Generators anwendungsbedingt vorteilhaft ist, um eine symmetrische Leistungsansteuerung der Elektroden zu gewährleisten und um wegen der Schwingneigung von Elektrodenspannung und Plasmastrom die Störungen auf der Ansteuerseite der Transistoren zu minimieren, wurde, anders als bei bekannten Generatoren, der für die Potentialtrennung vom Netz erforderliche Transformator 14 als wesentliches Funktionselement in der vorliegenden Brückenordnung 13 direkt am Ausgang des Generators 1 angeordnet. Dies ist dadurch möglich, da in der vorliegenden Anwendung die Ausgangsspannung zwischen den Elektroden 3, im bevorzugten Betriebsfall, gleichanteilsfrei ist, also symmetrisch um den Spannungsnullpunkt schwingt. Die Schalttransistoren 30 der Brückenschaltung 13 werden ebenfalls mit Hilfe einer Steuerelektronik, vorzugsweise mit einer Mikroprozessorelektronik, gezielt angesteuert.

Eine weitere bevorzugte Ausführung der erfindungsgemässen Anordnung ist eine Schaltungsstruktur der Vollbrücke 13 entsprechend der Fig. 5, die neben einer hohen Ausgangsleistung auch eine hohe Ausgangsfrequenz ermöglicht. Hier werden im wesentlichen zwei Vollbrücken parallel betrieben an einem einzigen DC-DC-Konverterausgang 7, wobei hier die

beiden Brückenschaltungen vorzugsweise zeitversetzt betrieben werden. Beim Aufbau einer Schaltung in der nur die mindeste erforderliche Anzahl an Transistoren Verwendung findet, um ein bipolares Spannungsmuster am Ausgang 26, 26' des Generators 1 aufzubauen, wird die Ausgangsfrequenz durch die maximale Schaltfrequenz jedes einzelnen Transistors bestimmt. Die maximale Schaltfrequenz der Transistoren, also die minimale Zeit zwischen zwei Einschaltvorgängen, wird massgeblich durch die Zeit beansprucht, die abgewartet werden muss bis sich zum einen die thermische Belastung durch den Ein- und Ausschaltvorgang, sowie während der Einschaltzeit des Transistors, abgebaut hat und zum andern sich die Ladungsträger in den Schaltkreisen des Transistors wieder abgebaut haben. Als Ausweg aus diesem Problem wurde wegen der anwendungsbedingt hohen erforderlichen Ausgangsfrequenz und den hohen Schaltströmen eine höhere Schaltfrequenz am Ausgang erzielt, indem nicht nur eine Vollbrücke eingesetzt wird, sondern vorteilhafterweise zwei oder mehrere Vollbrücken, die prinzipiell parallelgeschaltet betrieben werden, aber zeitlich versetzt geschaltet werden, wodurch eine höhere Ausgangsschaltfrequenz am Generator erzielt werden kann, als die einzelnen Transistoren erbringen müssen. Durch eine Ansteuerung der Transistoren A bis H mit den zugehörigen Strompfaden a bis h gemäss Fig. 5 und gemäss dem Muster nach Fig. 6 gelingt eine Verdoppelung bzw. Vervielfachung der resultierenden Ausgangsfrequenz zwischen den Elektroden 3 am Ausgang 26, 26' des Generators gegenüber der Schaltfrequenz der einzelnen Transistoren A bis H.

30

Durch diese Massnahme kann eine anwendungsbedingte resultierende Ausgangsfrequenz erreicht werden, die höher als



die maximal erzielbare Schaltfrequenz der eingesetzten Transistoren ist. Fig. 5 und 6 zeigen die Schaltzustände der Transistoren A bis H und die resultierenden Stromverläufe a bis h für einen Schaltzyklus aller Transistoren und den resultierenden bipolaren Ausgangspuls mit Pausen. Dies entspricht zwei Perioden der Ausgangsspannung des Generators. Im Intervall a schalten die Transistoren A und D ein und der Strom fließt vom positiven Pol des Zwischenkreises über den Transistor A über die Primärseite des Transformators über den Transistor D in den negativen Pol der Zwischenkreiskondensatoren 12. Während dieser Phase liegt beispielsweise eine positive Polarität an einem der beiden Ausgänge 26, 26' des Generators. Während des Intervalls b ist nun der Transistor D ausgeschaltet und der Stromfluss baut sich ab und fließt über die Freilaufdiode des Transistors C und den weiterhin eingeschalteten Transistor A. Desweiteren schaltet auch Transistor A aus und die beiden diagonal angeordneten Transistoren C und B schalten ein, woraufhin der Strom nun entgegengesetzt zur vorherbeschriebenen Transistorstellung durch die Primärseite des Transformators 14 fließt und sich an den beiden Ausgängen des Generators 26, 26' nun die entgegengesetzte Polarität aufbaut. Der vollständige Verlauf der Intervalle a bis h ergibt, so wie in Fig. 6 dargestellt, zwei Perioden der Potentialwechsel an den Ausgängen des Generators. Für eine bevorzugte Ausführungsform des Generators wird für die Erzeugung eines stabilen und ruhigen Plasmas bzw. für ein Plasma, bei welchem das Arcing weitestgehend vermieden wird, die beiden Elektroden 3, welche am Ausgang 26, 26' angeschlossen sind, in der Pulspause gegeneinander kurzgeschlossen. In der hier dargestellten Ausführungsform bleiben in der Pulspause gezielt Schalter eingeschaltet und es

wird so ein Freilaufkreis geschaffen, über den sich der primärseitige Strom abbaut. Die Elektroden sind somit über die Sekundärseite des Transformators 14 kurzgeschlossen.

- 5 Bei der vorerwähnten Schaltung wurde ein einzelner Transformator 14 verwendet und die mehreren Brückenschaltungen primärseitig auf den einen Transformator 14 geschaltet. Um eine weitere Leistungsaufteilung und Symmetrierung auf die beiden Transistorvollbrücken 13a, 13b zu ermöglichen oder  
10 auf mehrere Vollbrücken, wurden wie in Fig. 7 dargestellt, jeder Vollbrücke 13a, 13b ein eigener Transformator 14 zugeteilt. Die einzelnen Transformatoren 14a, 14b sind sekundärseitig parallel geschaltet und auf den Ausgang 26, 26' des Generators geführt, wo beide Elektroden 3 angeschlossen  
15 werden können.

- Durch Erzielung der erwünschten sehr hohen Ausgangsleistungen über 50 kW ist eine weitere Parallelschaltung von Brücken gegenüber dem Beispiel aus Fig. 7 vorteilhaft, da die  
20 Strombelastung in den einzelnen Transistoren damit weiter reduziert werden kann. Ein solcher Aufbau ist beispielsweise in Fig. 8 dargestellt, wo vier solche Brückenschaltungen 13a bis 13d verwendet werden. Zur guten Entkopplung wurde bei diesem Beispiel für jede Brücke je ein Transformator  
25 14a bis 14d vorgesehen und sekundärseitig am Ausgang zusammengeschaltet. Wie bereits erwähnt ist auch die Verwendung nur eines Transformators 14 möglich.

- In einem Frequenzbereich von 1 bis 50 kHz ist die Anwendung  
30 von IGBT's als Schalter von Vorteil, da diese den derzeitigen Stand der Technik bei Parallelschaltung zweier Brücken einen genügend hohen Strom schalten können. Zur Erreichung

eines Frequenzbereiches von 50 bis 500 kHz sollten statt der IGBT's sogenannte MOSFET's zum Einsatz kommen, da diese schneller schalten können. Nachteil bei der Verwendung von MOSFET's ist deren Möglichkeit zur Schaltung geringerer  
5 Ströme, so dass mehrere MOSFET's parallel geschaltet werden müssen. Eine Erhöhung der Schaltfrequenz bei unveränderter Impulseinschaltdauer, also eine Reduzierung der Pausenzeit, kann auch durch das Hinzufügen einer zusätzlichen Brücke und alternierendes Ansteuern, wie dies bereits in Fig. 5  
10 diskutiert wurde, erzielt werden.

Der Transformator 14 spielt für die Funktion der erfindungsgemässen Anordnung eine wesentliche Rolle. Um das erforderliche Verhalten erzielen zu können, ist es zwingend  
15 notwendig, dass die Streuinduktivität des Transformators 14 möglichst gering gehalten wird. Der Transformator 14 sollte derart ausgelegt werden, dass diese Streuinduktivität auf jeden Fall weniger als 50  $\mu\text{H}$  beträgt oder besser gar weniger als 10  $\mu\text{H}$ . Hierzu ist es erforderlich, dass die Übersetzungsverhältnisse klein sind, was das vorliegende Konzept des Generators ermöglicht. Das Übersetzungsverhältnis sollte möglichst nicht über 1:2 betragen oder noch besser weniger als 1:1,5 sein. Das Kernmaterial 27 bei den vorliegenden Frequenzen ist aus Ferrit gefertigt und wird aus  
25 mehreren Kernen 27 zusammengesetzt, um auf das notwendige Kernvolumen zu kommen. Für ein typisches Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen Generatoranordnung mit einer Betriebsfrequenz von 25 bis 50 kHz und einer übertragenen Leistung von 50 kW wurde folgende Trafoausführung realisiert:  
30

Der Kern 27 besteht aus Ferritmaterial, wobei neun Stück hintereinander als E-Kern-paare 80/38/20 angeordnet worden sind.

Das Übersetzungsverhältnis der Wicklung betrug 8:9 Windungen. Die Primärspannung war 0 bis 725 Volt (Amplitude) und der Primärstrom 0 bis 170 Ampère (Amplitude) einstellbar am Konverter 7, wobei der Gleichrichtmittelwert des Stromes 0 bis 36 Ampere betrug. Der Kupferwiderstand primärseitig betrug ca. 7 mOhm bei 100 °C und sekundärseitig ca. 15 mOhm bei 100 °C und die Streuinduktivität primärseitig gemessen entsprach ca. 2 µH. Zur Erzielung der kleinen Streuung wurden zwei parallelgeschaltete Primärwicklungen 21, 22 symmetrisch im Wicklungsfenster zur Sekundärwicklung 23 angeordnet, also verschachtelt. Eventuell auftretende Verschiebungsströme zwischen Primär- und Sekundärseite werden von zwischen den Wicklungen liegenden Schirmfolien 24, welche zwischen Isolierfolien 25 liegen, abgeleitet. Diese Ausführung der Transformatorenwicklung ist im Querschnitt in Fig. 9 dargestellt.

20

Die Pausenzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Pulsen ist üblicherweise im Bereich von einigen µs, kann aber bis auf minimal 0,5 µs reduziert werden. Diese Zeit sollte jedenfalls abgewartet werden, bevor die Transistoren wieder geöffnet werden, um allfällige Kurzschlüsse zwischen den beiden Schalttransistoren zu vermeiden.

Zum Zünden des Plasmas ist in bekannter Weise eine Spannungsüberhöhung notwendig, die der Generator alleine ohne zusätzliche Massnahmen nicht liefert. Es können entweder zusätzliche Plasmazündeinrichtungen verwendet werden oder es kann am Ausgang des Generators ein LC-Glied angeordnet

werden oder als parasitäre Anordnung ausgebildet sein, wodurch über eine resonante Spannungserhöhung an dem gebildeten Schwingkreis eine Zündspannung beim Anfahren erzielt wird. Nach erfolgter Zündung brennt das Plasma ohne zusätzliche Massnahmen weiter auch während den Pulspausen. Wie bereits erwähnt worden ist, ist der erfindungsgemässe Generator speziell geeignet für die Herstellung von reaktiven Schichten mit Hilfe von Vakuumzerstäubungsprozessen. Insbesondere dort wo schlecht leitende Schichten oder gar dielektrische Schichten reaktiv vom metallischen Target zerstäubt werden sollen, ist es möglich, mit dem vorliegenden Generator Schichten hoher Qualität unter Produktionsbedingungen zu realisieren. Der Generator ist besonders für diejenigen reaktiven Anwendungen geeignet, wo besondere kristalline Schichteigenschaften gefordert sind. Dies trifft insbesondere bei Materialien zu wie  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Vorallem bei  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , welches in verschiedenen kristallinen Modifikationen vorkommen kann, ermöglicht es der erfindungsgemässe Generator, eine Prozessführung zu realisieren, welche gezielt die bevorzugte kristalline Modifikation ermöglicht. Besonders für die Anwendung von Hartstoffschichten in Verschleisschutzanwendungen, wo spezielle harte Schichten mit Härtegraden grösser 2200 HK notwendig sind, ist der erfindungsgemässe Generator mit Vorteil einzusetzen. Es war mit dem vorliegenden Generator möglich, in einer Vakuumbeschichtungsanlage mit Hilfe der Magnetronzerstäubung gezielt kristallines Aluminiumoxyd abzuscheiden. Als Beschichtungsanlage wurde eine kommerzielle Anlage mit der Bezeichnung BAI 1200 der Firma Balzers in Liechtenstein verwendet (Patent US 5,709,784). In Fig.10 ist schematisch und im Querschnitt die verwendete Anlagenkonfiguration dargestellt. Es wurden zwei rechteckförmige Magnetronkathoden

3, 3' eingesetzt mit Targets aus Aluminium mit hoher Reinheit von 99,9995 % und einer Fläche von jeweils 430 mm<sup>2</sup>. Die beiden Magnetronzerstäubungsquellen 3, 3' wurden eng nebeneinander an einem Flansch angeordnet und mit einem Winkel von jeweils 15 ° zueinander verkippt, wobei beide Kathoden elektrisch isoliert angebracht worden sind und an die beiden Ausgänge 26, 26' des Generators angeschlossen wurden. Somit war jeweils eines der Targets als Kathode geschaltet, während zum gleichen Zeitintervall das andere Target als Anode verschaltet war. Entsprechend der elektrischen Ausführung des Generators waren während der Pulspause die beiden Kathoden gegeneinander elektrisch kurzgeschlossen. Die für das Ausführungsbeispiel realisierten typischen Werte für den Generator wurden zur Übersicht nochmals in Tabelle 1 zusammengefasst. Angegeben sind dort auch im Vergleich die sinnvoll Realisierbaren für diese Prozesstechnik.

Vor der Deposition der Schichten wurde zunächst eine Kennlinie aufgenommen, die bei konstant gehaltener Targetspannung von 750 Volt und einer Stromwechselfrequenz von 42 kHz, bei einer Puls- und Pausenzeit von jeweils 6 µs, den Targetstrom [A] also den maximal jeweils über einer Kathode fließenden Strom während eines Pulszeitintervalls als Funktion des Sauerstoffanteils im Argon-Sauerstoff-Gasgemisch darstellt. Diese in Fig. 11 dargestellte Kennlinie zeigt an, ab welchem Sauerstoffanteil O<sub>2</sub> in [sccm] im Gasgemisch das Target sich signifikant mit einer Oxydschicht belegt und grenzt die Bereiche des metallischen Mode a), des Übergangs-Mode b) und des oxydischen Mode c) bei hohen Sauerstoffanteilen voneinander ab. Diese Kennlinie hängt im einzelnen von der elektrischen Ausführung des ver-

wendeten Generators und der Parameterwahl (wie Ausgangsim-  
pedanz, Spannung, Frequenz, der Anlagengeometrie, der Art  
des Gaseinlasses, dem Magnetfeld hinter den Kathoden, dem  
Druck etc.) ab. Um stöchiometrische Oxydschichten abzu-  
5 scheiden, muss die Prozessführung mindestens im Übergangs-  
bereich erfolgen. Das bedeutet, der Sauerstofffluss muss  
mindestens so hoch sein, dass die Targetoberfläche beginnt,  
sich mit einer Oxydschicht zu belegen. Hieraus ergibt sich  
ein erhöhter Targetstrom durch die grössere Anzahl gene-  
10 rierter Sekundärelektronen des Oxyds im Vergleich zum rein  
metallischen Mode. In diesem Fall wurde zur Abscheidung der  
Oxydschicht der Sauerstofffluss mittels einem PID-Regler  
auf einen Wert geregelt, damit sich aufgrund des Oxydati-  
onsgrades an der Targetoberfläche ein Stromwert von 50  
15 Ampère ergab. Der Total-Druck der Argon-Sauerstoff-Mischung  
liegt bei solchen reaktiven Magnetronprozessen typischer-  
weise in Bereichen von  $10^{-3}$  bis einigen  $10^{-2}$  mbar.

Die Beschichtung der in der Gamma-Phase kristallisierten  
20 Schichten erfolgte bei Temperaturen um  $550^{\circ}\text{C}$ , einem Argon-  
Sauerstoff-Flussverhältnis von etwa 7:1 und Gesamtdrücken  
um  $2,5 \cdot 10^{-3}$  mbar. Während der Beschichtung standen die  
Substrate in einem Abstand d von 13 cm zentral vor den bei-  
den Kathoden. Um die benötigten Temperaturen zu erreichen,  
25 kann auf bekannte Art eine Substratheizung 31 verwendet  
werden. Für eine Vorbehandlung der Substrate bzw. der Werk-  
stücke kann an der Anlage eine Ätzeinrichtung 32 eingesetzt  
werden, um beispielsweise die Schichthaftung zu verbessern.  
Zusätzlich ist es auch möglich mit einer Beschichtungsquel-  
30 le, wie mit einer Arc-Verdampfungsquelle 34 und/oder einer  
Magnetron-Zerstäubungsquelle, eine Haftschrift abzuschei-  
den. Eine weitere Möglichkeit die Schichtqualität zu beein-

flussen bzw. zu kontrollieren, besteht in der Möglichkeit, einen Substratbias 33, vorzugsweise gepulst wie mit 50 kHz und einigen KW Betriebsleistung, zu verwenden.

5 Fig. 12 zeigt das an einer in der Gamma-Phase kristallisierten Schicht aufgenommene Röntgenbeugungsspektrum. Man erkennt deutlich die Peaks der an den [400] und [440] Ebenen gebeugten Strahlung bei 45,9 und 67,1 °. Die Härte der Schicht betrug etwa 2400 HK und entsprach damit den für  
10 Gamma-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schichten veröffentlichten Erwartungen. Tabelle 2 zeigt die jeweils verwendeten Parameter zur Deposition der Schichten. So konnten für Verschleisschutzanwendungen hochwertig sowohl in der Gamma- als auch in der Alpha-Phase kristallisierte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bzw. (AlMe)<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, insbesondere  
15 (AlCr)<sub>x</sub>O<sub>y</sub> und (AlFe)<sub>x</sub>O<sub>y</sub> abgeschieden werden. In Tabelle 3 sind Gesamt- und Vorzugsbereiche angegeben, in denen die Abscheidungen der Gamma-Phase und Alpha-Phase von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> möglich ist. Da der Prozess im oxydischen Bereich, also bei relativ hohen O<sub>2</sub>-Flüssen bzw. Partialdrücken, gefahren werden muss, oxydieren Bereiche ausserhalb des Sputtergrabens  
20 am Target, derart dass es hier zu lokalen elektrischen Aufladungen auf der Targetoberfläche kommt. Diese Aufladungen würden eine ordentliche Prozessführung verunmöglichen. Der erfindungsgemässe Generator ist aber in der Lage diese Aufladungen abzubauen und für konstante Prozessbedingungen zu  
25 sorgen. Ausserdem ist es möglich, bei starken Entladungen solche auch kurzzeitig auszutasten, ohne den Prozess drastisch zu stören oder den Generator zu zerstören. Es treten hierbei immerhin während der Prozessführung etwa 50 Ampère  
30 Maximalstrom auf und im Fall von Extremsituationen bis über 300 Ampère bei Frequenzen von 50 kHz.



Tabelle 1

	Spannung [V]	Stromspitze [A]	Puls [ $\mu$ s]	Pulspause [ $\mu$ s]	Frequenz [kHz]
realisiert	0 bis 800	300	$\geq 5$	$\geq 5$	$\leq 50$
sinnvoll <sup>1)</sup> realisierbar	0 bis 5000	600	$\geq 2$	$> 0$	$\leq 200$

<sup>1)</sup> nicht alle Grenzwerte gleichzeitig realisierbar

Tabelle 2

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kristall	P [mbar]	V [kHz]	T [°C]	U [V]	I [A]	Ar [sccm]	O <sub>2</sub> [sccm]	Bias [V]
Gamma	$2,5 \cdot 10^{-3}$	42	550	750	50	100	14,5	50 bp <sup>1)</sup>
Alpha	$4,4 \cdot 10^{-3}$	25	800	800	30	94	8	float

5 <sup>1)</sup> bipolar puls 50 kHz

Tabelle 3

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kri- stall	V [kHz]	T [°C]	U [V]	Ar [sccm]	O <sub>2</sub> [sccm]	Bias [V]
Gamma	10 - 100	400 - 600	500 - 1000	Var. <sup>1)</sup>	var. <sup>1)</sup>	0 - 200 <sup>2)</sup>
Alpha	10 - 100	600 - 800	500 - 1000	Var. <sup>1)</sup>	var. <sup>1)</sup>	0 - 200 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> variabel je nach Hysterese, vorzugsweise im Übergangsbereich bzw. oxidischer Bereich

10 <sup>2)</sup> einstellbar 0 - 200 V, bevorzugt 50 - 150 V zur Anpassung der Mikrostruktur, Dichte und Haftung.

Mit dem erfindungsgemässen Generator war es somit möglich, Aluminiumoxyd in der Gamma-Phase in einem Temperaturbereich  
 15 von 400 bis 600 °C zuverlässig abzuscheiden. Das Gamma-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ist besonders vorteilhaft in der Hartstoffanwendung einzusetzen, da bei den relativ tiefen Temperaturen, die dann noch unter den Anlasstemperaturen verschiedener Stähle wie z.B. HSS liegen, auch Stahlkörper beschichtet werden  
 20 können, ohne das Stahlsubstrat negativ zu beeinflussen. Sogar Alpha-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abzuscheiden, war mit dem vorliegenden Generator möglich, allerdings bei etwas höheren Temperaturen im Bereich von 600 bis 800 °C. Die Möglichkeit nun solche qualitativ hochstehenden und harten Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schichten ab-  
 25 scheiden zu können, dürften im Hartstoffbereich neue Anwendungen erschliessen. Der erfindungsgemässe Generator ist darüberhinaus nicht nur für diesen Bereich erfolgverspre-

chend einsetzbar, sondern vorallem auch in allen Bereichen,  
wo sensible Reaktivprozesse realisiert werden sollen.

**Patentansprüche**

1. Vakuumplasmagenerator mit einem Ausgang (26, 26') zur  
Speisung einer Plasmaentladung zur Behandlung von Werk-  
5 stücken in einer Vakuumkammer dass diese umfasst:
- einen Netzanschluss (6a) für den Anschluss an ein  
Wechselspannungsnetz;
  - einen Netzgleichrichter (6) verbunden mit
  - einem Konverter (7) mit einem Steuereingang (7a) zur  
10 Einstellung und/oder Regelung der Konverterausgangs-  
spannung;
  - eine mit dem Konverterausgang (7) verbundene gesteu-  
erte Vollbrückenschaltung (13) mit einem potential-  
freien Generatorausgang (26, 26'), welche die Kon-  
15 verterausgangsspannung in Pulse von 1 bis 500 kHz  
umsetzt, wobei in die Brücke (13) ein potential  
trennender Transformator (14) geschaltet ist zur  
galvanischen Entkopplung des Generatorausganges (26,  
26').
- 20
2. Generator nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Spannungsübersetzungsverhältnis der Brückenschal-  
tung (13) mit Transformator (14) maximal 1:2 beträgt,  
vorzugsweise maximal 1:1,5.
- 25
3. Generator nach einem der Ansprüche 1 oder 2 **dadurch ge-  
kennzeichnet, dass** der Transformator (14) eine Streuin-  
duktivität (16,17) unter 50  $\mu\text{H}$ , bevorzugt unter 10  $\mu\text{H}$ ,  
aufweist.
- 30
4. Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche **da-  
durch gekennzeichnet, dass** der Konverter (7) ein getak-

teter Konverter ist, vorzugsweise ein buck-boost-Konverter zur Einstellung einer Ausgangsspannung die sowohl kleiner als auch grösser als die Eingangsspannung ist.

5

5. Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brückenschaltung (13) bipolare Pulse erzeugt.

10 6. Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brückenschaltung (13) Steuermittel aufweist zu wahlweisen Einstellung und/oder Regelung des Pulsverhaltens, wie die Schaltfrequenz, das Tastverhältnis, die Pulsdauer und zur  
15 Einstellung der Puls-Kurvenform.

7. Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brückenschaltung (13) zwischen aufeinander folgenden Pulsen eine Pulspause  
20 ausbildet.

8. Generator nach Anspruch 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brückenschaltung (13) in den Pulspausen den Transformator (14) primärseitig kurz schliesst.

25

9. Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei Brückenschaltungen (13) dem Konverter (7) nachgeschaltet sind.

30 10. Generator nach Anspruch 9 **dadurch gekennzeichnet, dass** vier Brückenschaltungen dem Konverter (7) nachgeschaltet sind.

11. Generator nach einem der Ansprüche 9 oder 10 **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Brückenschaltung (13) ein Transformator (14) zugeordnet ist und die Sekundärseiten der Transformatoren (14) parallel geschaltet sind.
12. Generator nach einem der Ansprüche 9 bis 11 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brückenschaltungen (13) phasenversetzt geschaltet sind.
13. Verfahren zur Herstellung einer Schicht durch reaktives abscheiden aus einem Plasma, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Plasma mit einer Vakuumplasmastromversorgung nach einem der Ansprüche 1 bis 12 betrieben wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13 **dadurch gekennzeichnet, dass** der Generatorausgang (26, 26') mit zwei Abscheideelektroden (3) verbunden ist.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14 **dadurch gekennzeichnet, dass** dielektrische Schichten reaktiv abgeschieden werden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schicht durch Sputtern, insbesondere Magnetronsputtern abgeschieden wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schicht eine Hartstoffschicht ist, insbesondere eine reaktiv abgeschiedene Metalloxyd Schicht  $\text{Me}_x\text{O}_y$ .

18. Verfahren nach Anspruch 17 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hartstoffschicht eine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Schicht ist.
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hartstoffschicht ein Mischoxyd ist wie  
5  $(\text{AlMe})_x\text{O}_y$ , vorzugsweise  $(\text{AlCr})_x\text{O}_y$  und/oder  $(\text{AlFe})_x\text{O}_y$ .
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 19 **dadurch gekennzeichnet, dass** die kristalline Struktur der  
10 Schicht im wesentlichen eine Alphaphase und/oder eine Gammaphase aufweist wobei die Gammaphase bevorzugt ist.

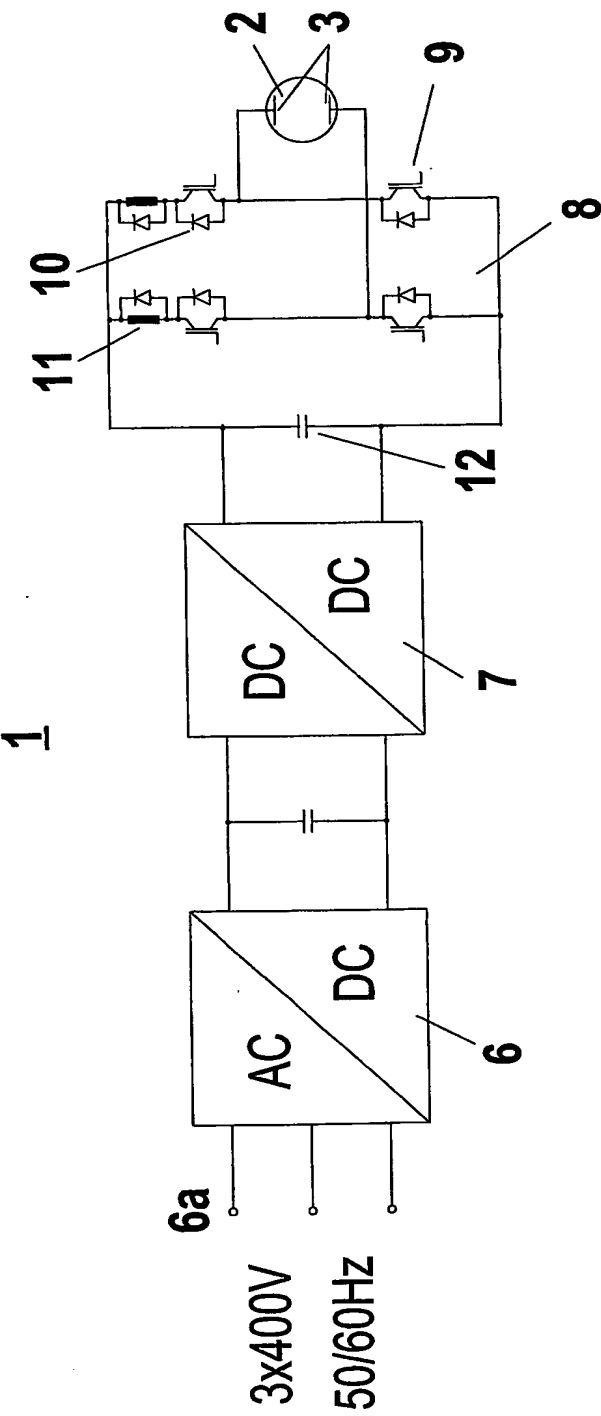


Fig. 1

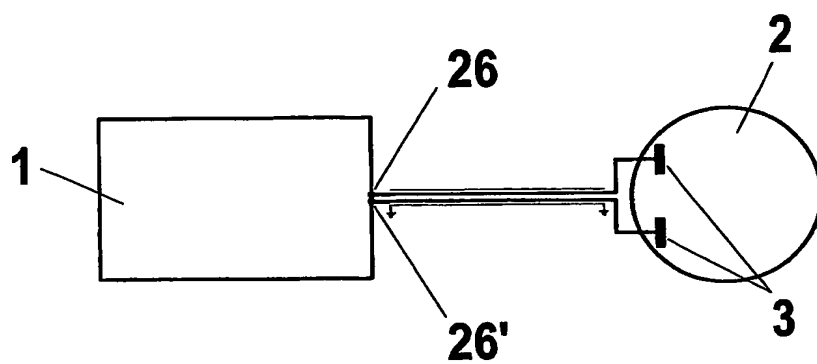


Fig. 2

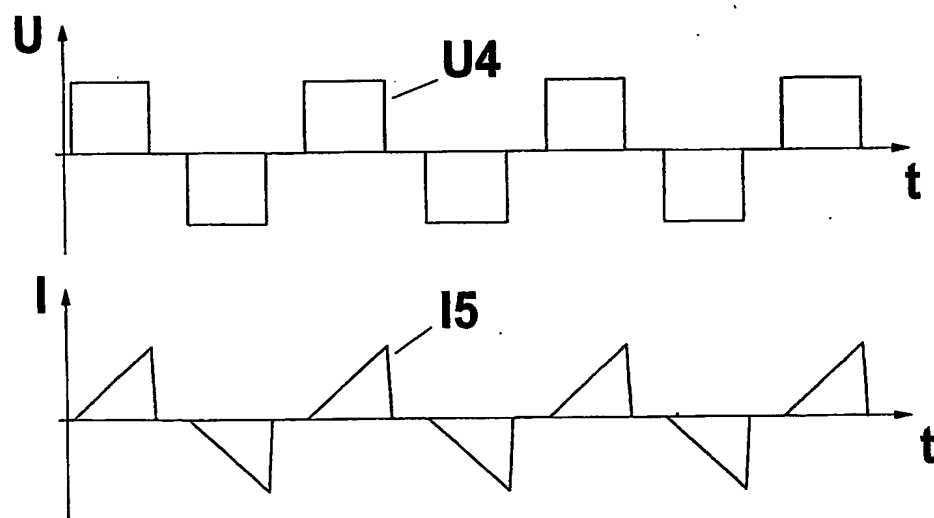


Fig. 3



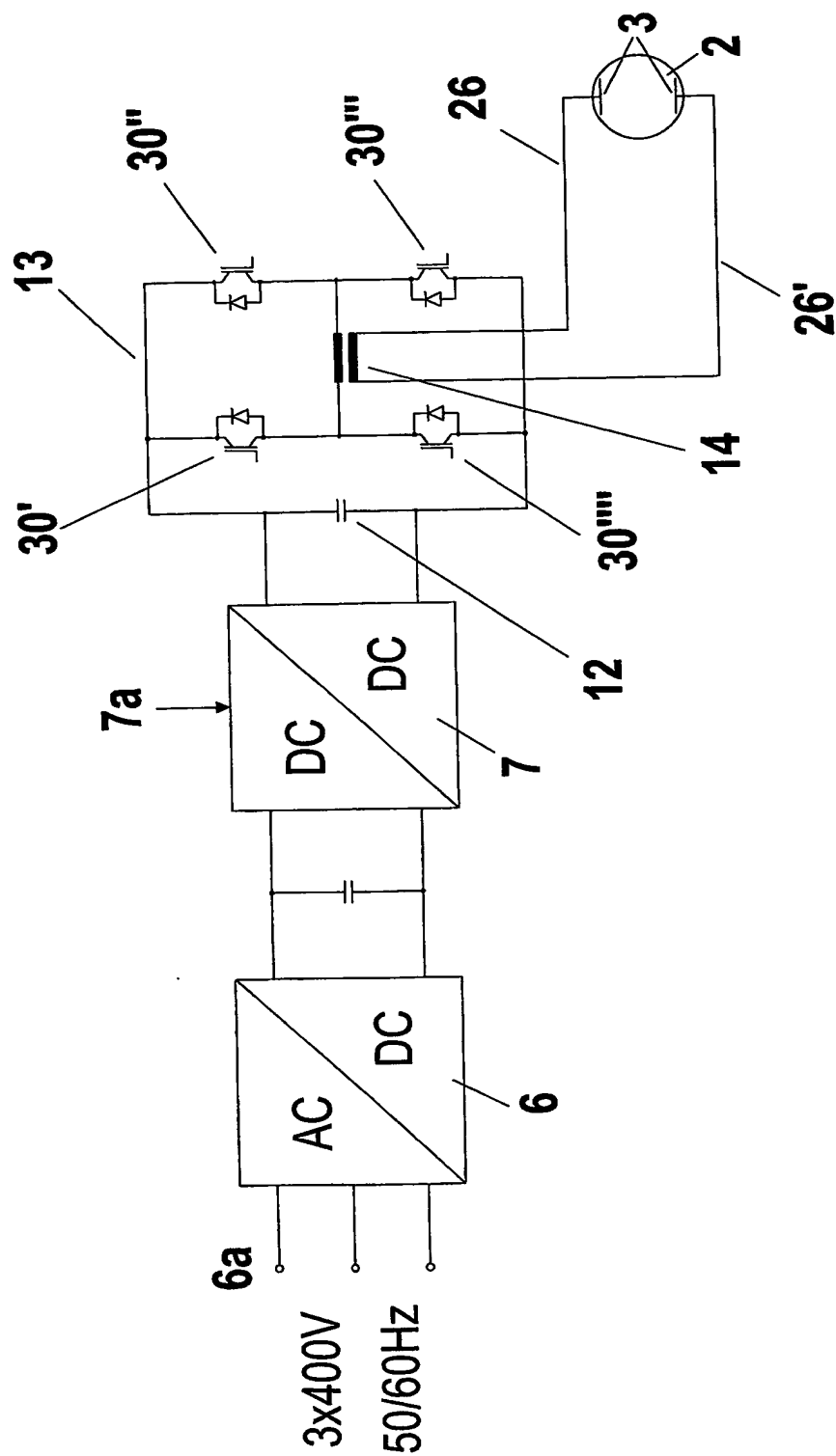


Fig. 4

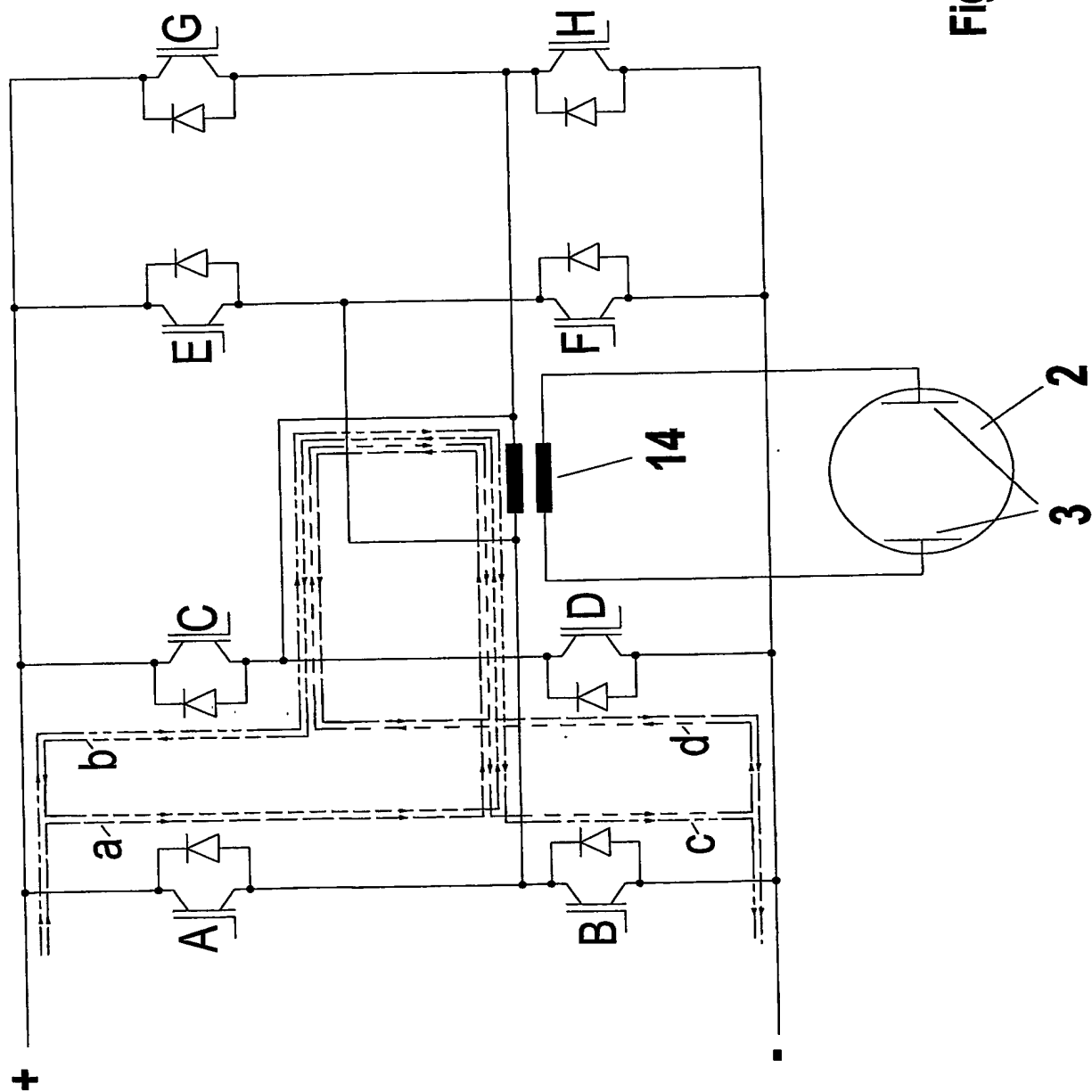


Fig. 5

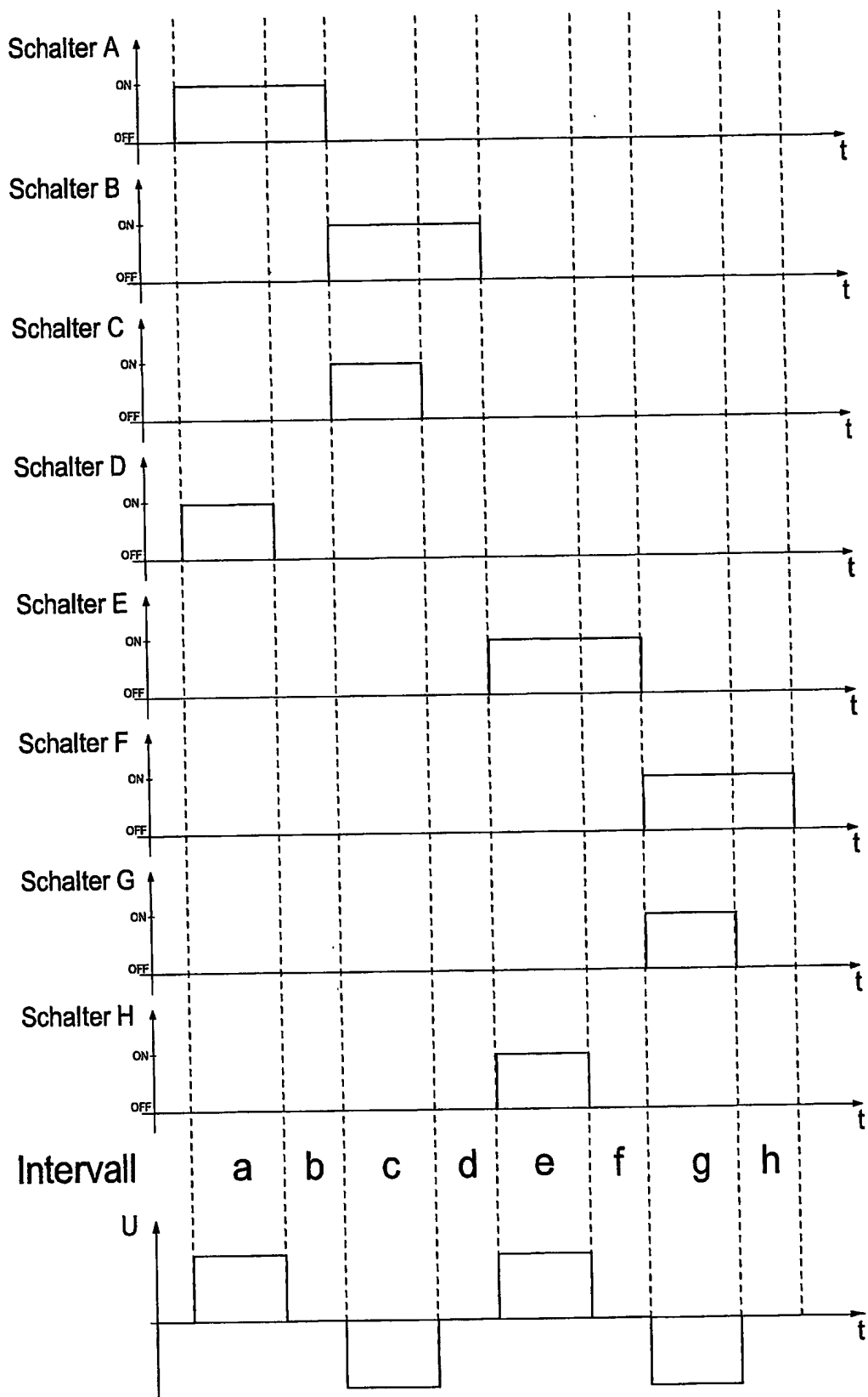


Fig. 6

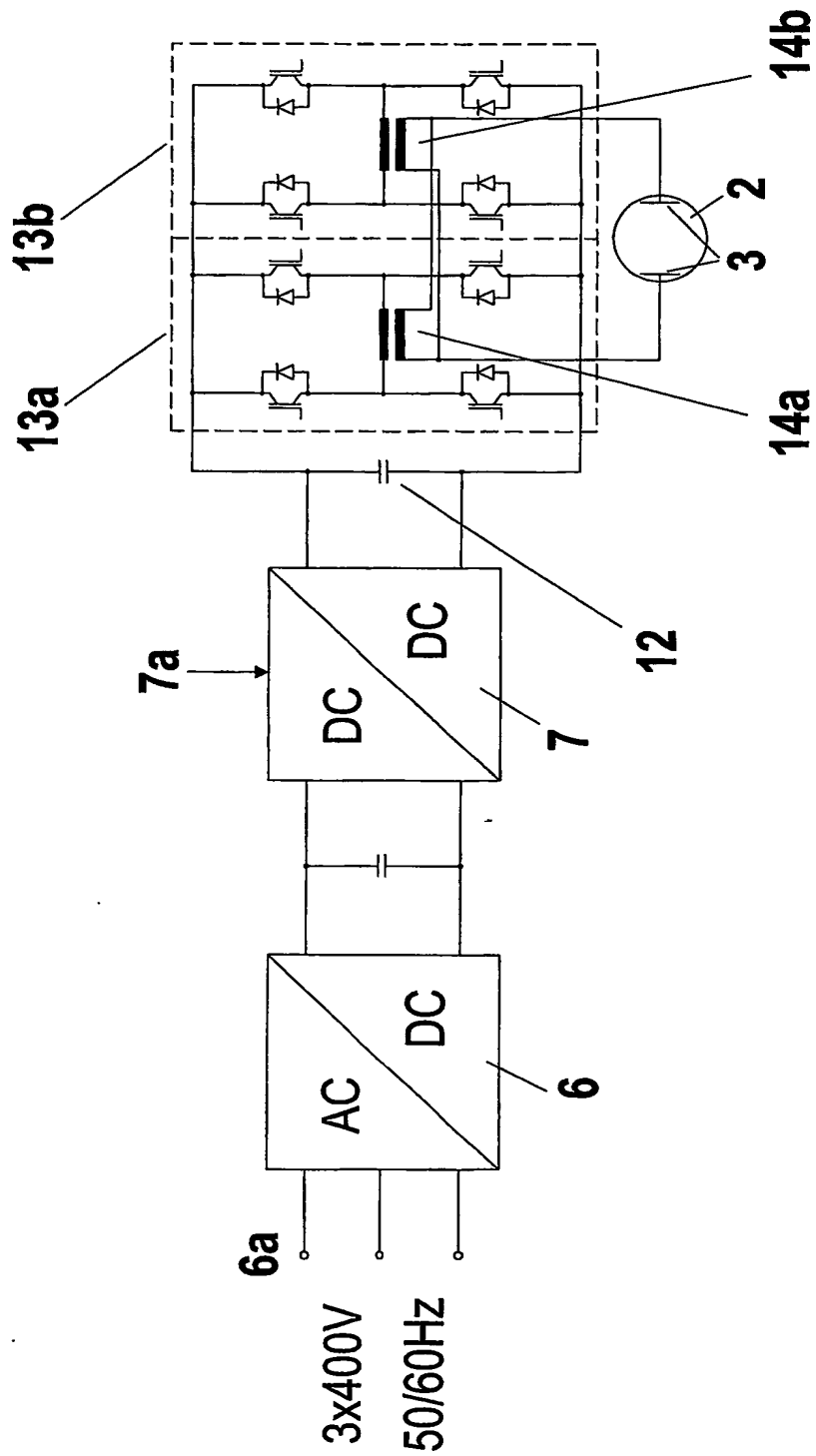


Fig. 7

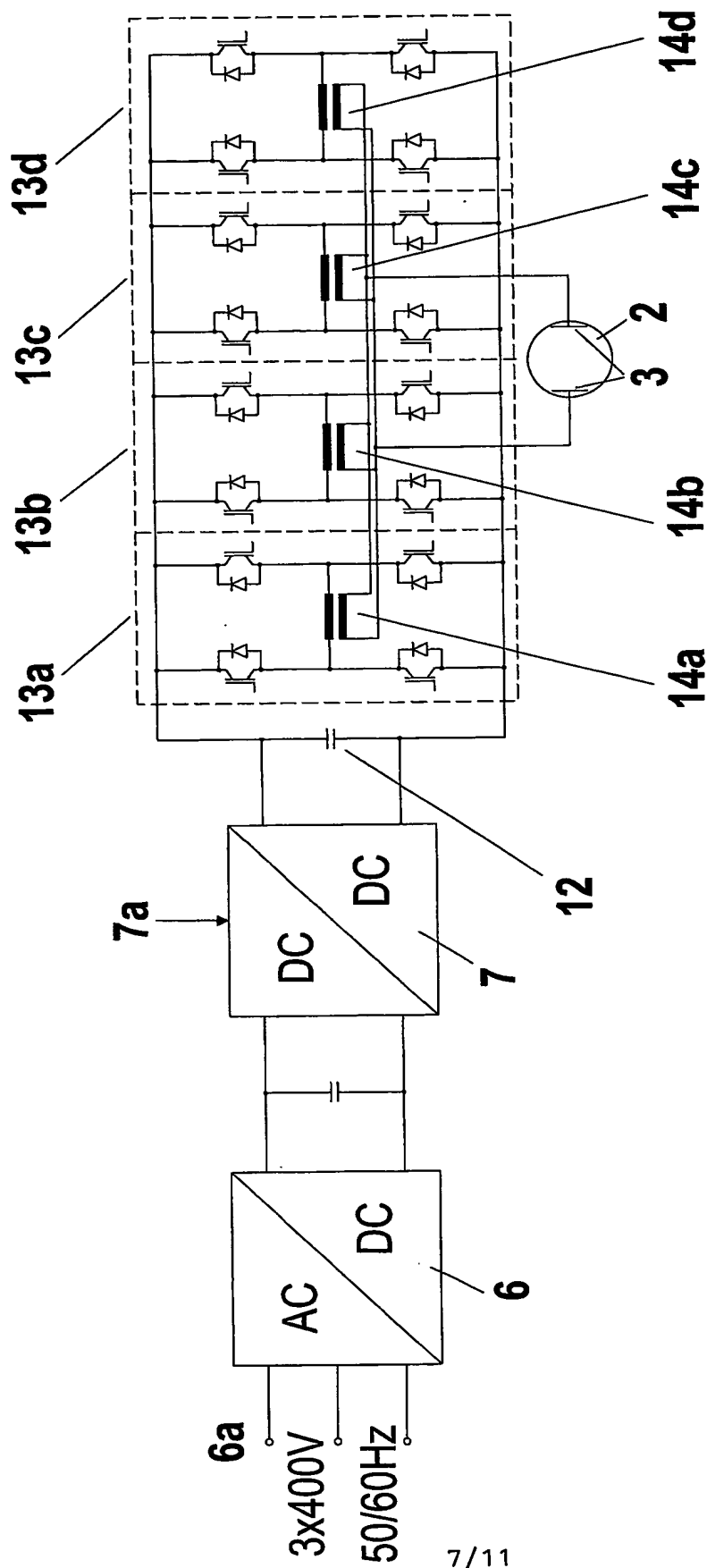
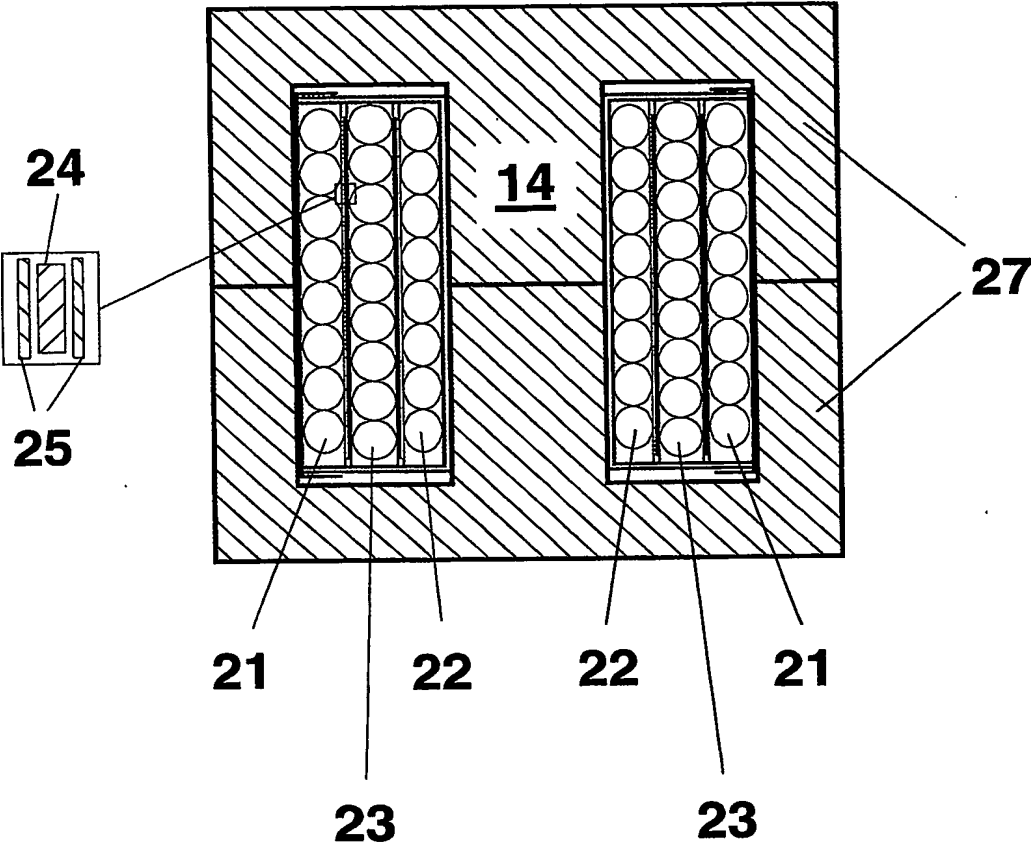


Fig. 8



**Fig. 9**

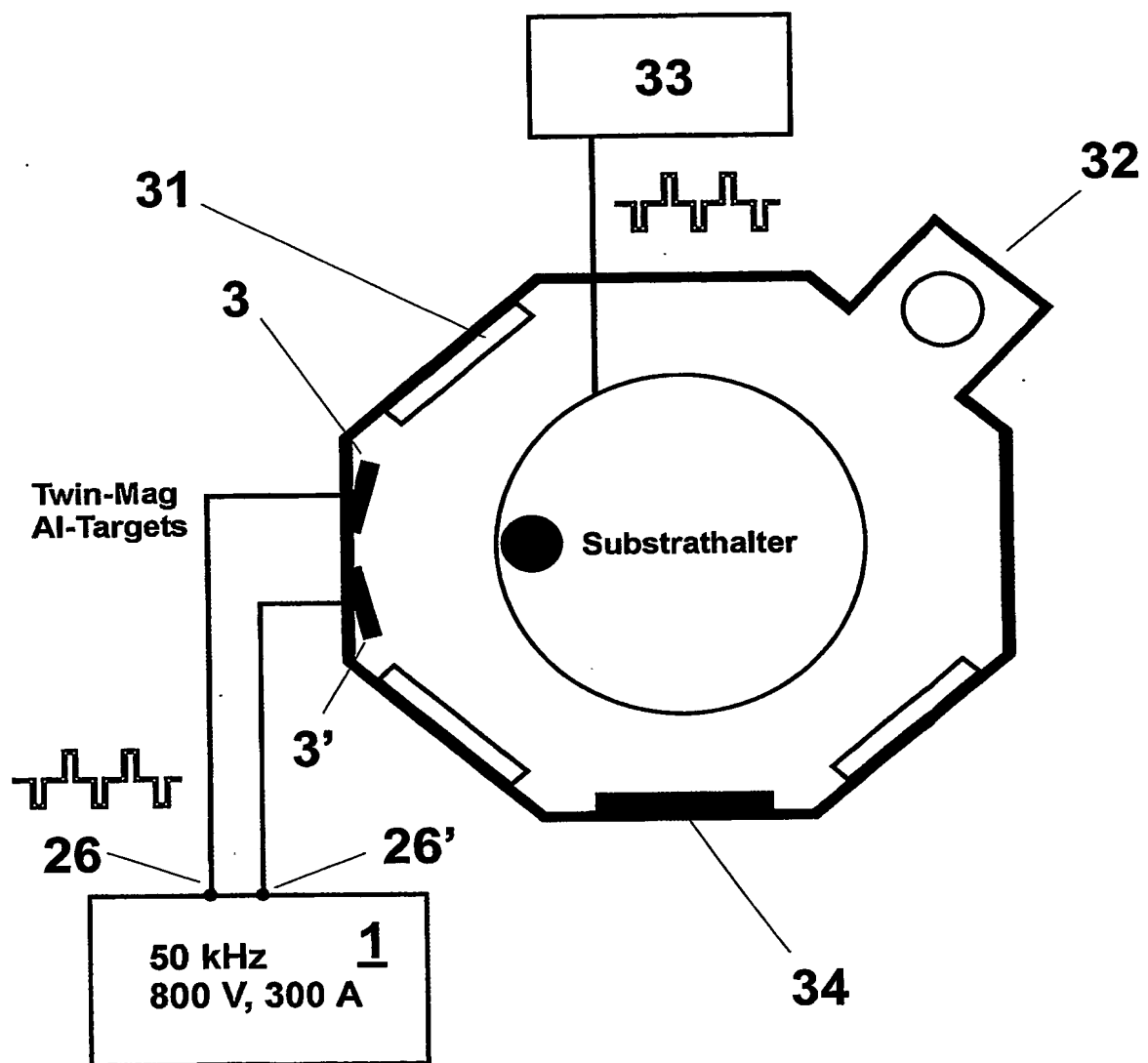


Fig. 10

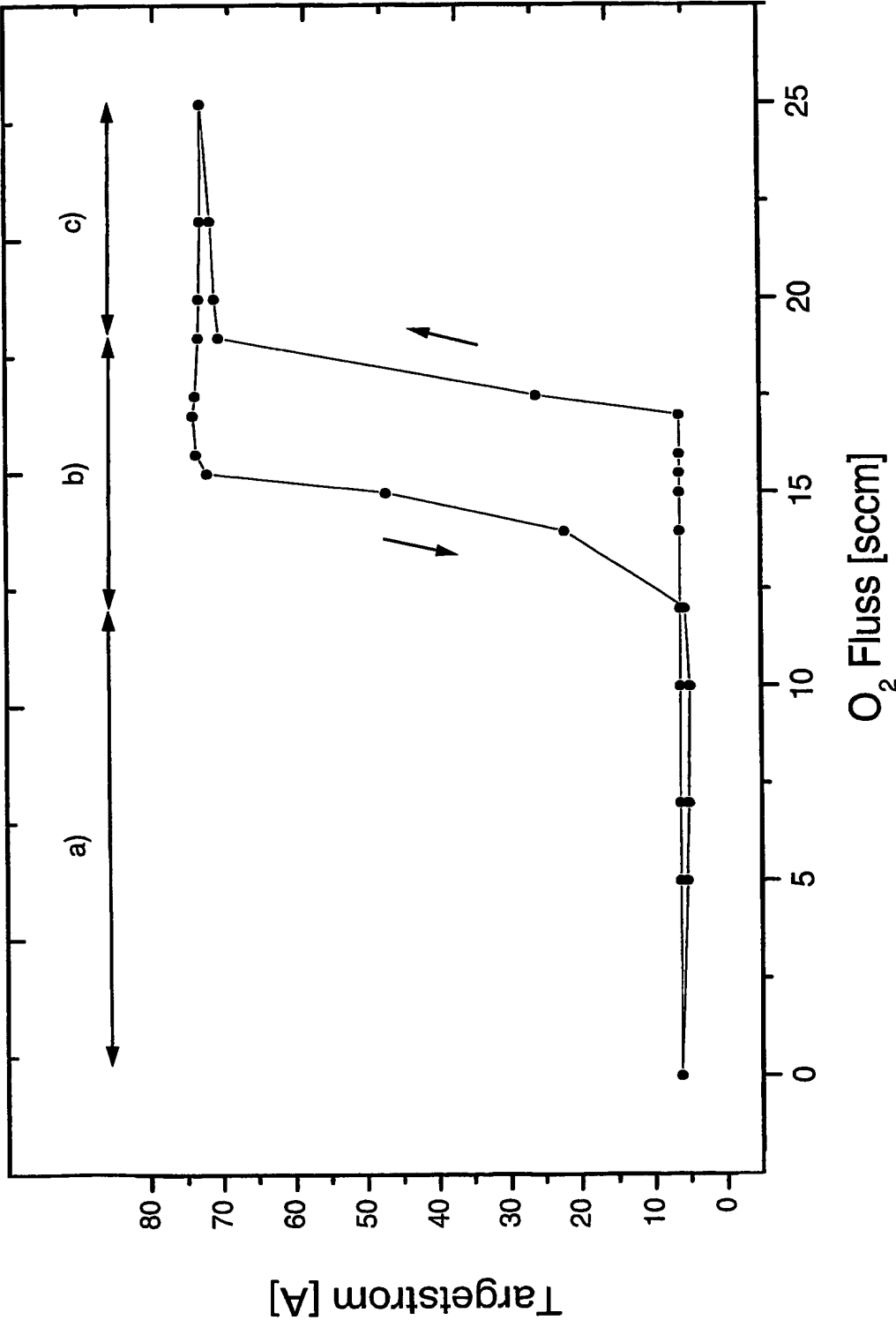


Fig. 11



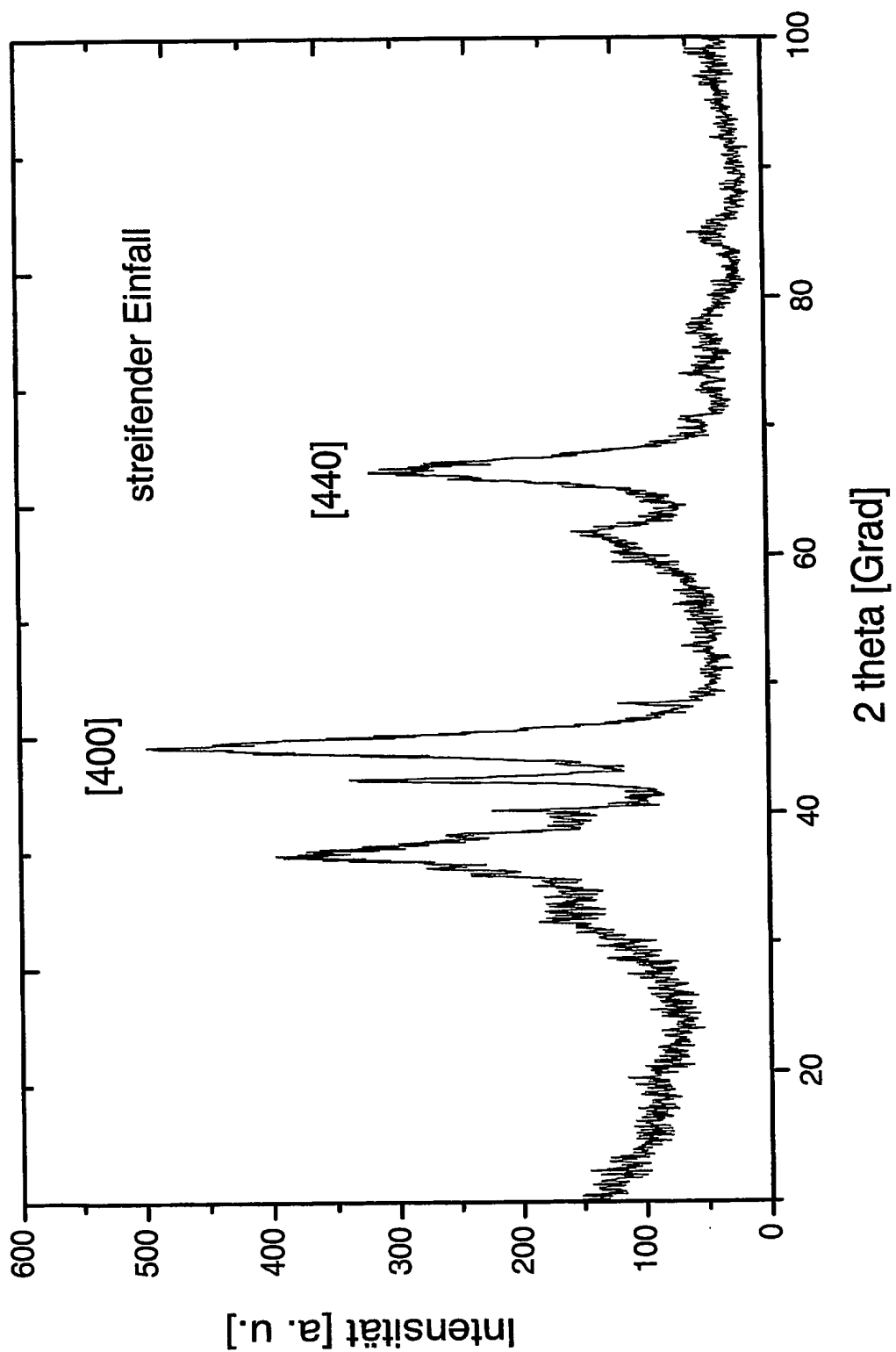


Fig. 12

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH 03/00121

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01J37/34 H01J37/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01 43267 A (ADVANCED ENERGY IND INC ;KISHINEVSKY MICHAEL (US); CHRISTIE DAVID) 14 June 2001 (2001-06-14) page 5, line 13 - line 22 page 6, line 15 - line 35; figures ----	1
A	DE 44 38 463 C (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 15 February 1996 (1996-02-15) abstract; figures ----	1
A	DE 299 05 137 U (UNIV MAGDEBURG TECH) 8 July 1999 (1999-07-08) page 7, paragraph 3 -page 10, last paragraph ----- -/--	1



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 August 2003

Date of mailing of the international search report

20/08/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schaub, G

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH 03/00121

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 709 784 A (BRAENDLE HANS ET AL) 20 January 1998 (1998-01-20) cited in the application the whole document -----	1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/CH 03/00121

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0143267	A	14-06-2001	EP 1157454 A1	28-11-2001
			JP 2003516706 T	13-05-2003
			WO 0143267 A1	14-06-2001
			US 2002158616 A1	31-10-2002
DE 4438463	C	15-02-1996	DE 4438463 C1	15-02-1996
			WO 9613964 A1	09-05-1996
			JP 10507869 T	28-07-1998
			US 6005218 A	21-12-1999
DE 29905137	U	08-07-1999	DE 29905137 U1	08-07-1999
US 5709784	A	20-01-1998	WO 9734315 A1	18-09-1997
			DE 29615190 U1	28-11-1996
			DE 59608888 D1	18-04-2002
			EP 0886880 A1	30-12-1998
			ES 2173325 T3	16-10-2002
			JP 2000506225 T	23-05-2000

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 7 H01J37/34 H01J37/32

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 H01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 01 43267 A (ADVANCED ENERGY IND INC ;KISHINEVSKY MICHAEL (US); CHRISTIE DAVID) 14. Juni 2001 (2001-06-14) Seite 5, Zeile 13 - Zeile 22 Seite 6, Zeile 15 - Zeile 35; Abbildungen ----	1
A	DE 44 38 463 C (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 15. Februar 1996 (1996-02-15) Zusammenfassung; Abbildungen ----	1
A	DE 299 05 137 U (UNIV MAGDEBURG TECH) 8. Juli 1999 (1999-07-08) Seite 7, Absatz 3 -Seite 10, letzter Absatz ----- -/--	1

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. August 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/08/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Schaub, G

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 709 784 A (BRAENDLE HANS ET AL) 20. Januar 1998 (1998-01-20) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung

r selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH 03/00121

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0143267	A	14-06-2001	EP	1157454 A1	28-11-2001
			JP	2003516706 T	13-05-2003
			WO	0143267 A1	14-06-2001
			US	2002158616 A1	31-10-2002
DE 4438463	C	15-02-1996	DE	4438463 C1	15-02-1996
			WO	9613964 A1	09-05-1996
			JP	10507869 T	28-07-1998
			US	6005218 A	21-12-1999
DE 29905137	U	08-07-1999	DE	29905137 U1	08-07-1999
US 5709784	A	20-01-1998	WO	9734315 A1	18-09-1997
			DE	29615190 U1	28-11-1996
			DE	59608888 D1	18-04-2002
			EP	0886880 A1	30-12-1998
			ES	2173325 T3	16-10-2002
			JP	2000506225 T	23-05-2000